5К

УДК 621.43.056:632.15

О.С. Крячок, Т.І. Білянкіна
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Україна, м. Київ-56, 03056, проспект Перемоги, 37

До питання про цифрові моделі ґрунтів

A.S. Kryachok, T.I. Bilyankina
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»
Ukraine, 03056, c.Kiev, Prospect Peremohy., 37

About the Digital Models of Soil

А.С. Крячок, Т.И. Билянкина
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
Украина, г. Киев-56, 03056, проспект Победы, 37

К вопросу о цифровых моделях грунтов

Проаналізовано існуючі методи і засоби проектування ґрунтів на промисловому будівельному майданчику. Удосконалено метод побудови цифрових моделей ґрунтів шляхом використання кількох типів інтерполяції для покращення точності розрахунків. Розроблено компоненти комп'ютерної системи для побудови цифрових моделей ґрунтів.
Ключові слова: цифрова модель ґрунтів, проектування фундаментів, програмне забезпечення, математична модель, моделювання.

The methods and design tools for soils of industrial construction plants was analysed. The method of constructing digital models for soil base was improved. The components of computer system for soil digital models building was developed.
Key words: digital model of soils, design of foundations, software, mathematical model, modeling.

Проанализированы существующие методы и средства проектирования грунтов на промышленной строительной площадке. Усовершенствован метод построения цифровых моделей грунтов путем использования нескольких типов интерполяции для повышения точности расчетов. Разработаны компоненты компьютерной системы для построения цифровых моделей грунтов.
Ключевые слова: цифровая модель грунтов, почв, проектирование фундаментов, программное обеспечение, математическая модель, моделирование.

Промислове будівництво займає вагому частину в загальному обсязі капітального будівництва.

Однією з найважливіших ланок безпечного промислового будівництва є дослідження особливостей поведінки ґрунту на певній території. Від вартості і тривалості геологічних досліджень та моделі ґрунтової основи залежать техніко-економічні показники конструкції будівельного фундаменту. Збільшення складності споруд та активне освоєння підземного простору вимагає вдосконалення технології розрахунку ґрунтів на базі використання цифрових моделей, які дозволяють отримувати рішення високої точності [1-3].

Існуюча практика проектування фундаментів дозволяє досліджувати ґрунтову основу за даними буріння. Інформація отримується у вигляді зразків, які проходять лабораторну обробку. Результати представляються у вигляді масивів, що відображають якісний характер нашарувань ґрунту. Для розрахунку ґрунтової основи використовуються результати статистичних випробувань. Подаються вони у вигляді узагальнених

даних по окремих інженерно-геологічних елементах ґрунтового масиву. Недоліками такої методики є тривалі терміни отримання інформації та неможливість більш повно простежити характер ґрунтового масиву.

Розвиток технології статичного зондування ґрунтів дозволяє вважати, що отримання інформації при статичному зондуванні займає значно коротші терміни в порівнянні з методом буріння розвідувальних свердловин.

Успішне застосування статичного зондування поставило проблему розробки методів електронного проектування на базі даних зондування.

Постановка задачі

Досвід використання автоматизованих систем проектування довів зростання ролі нового виду інформаційної продукції – цифрових моделей. Саме вони стають основою отримання кінцевої графічної інформації і засобом її зберігання для проектованого об’єкта. Математичні методи обробки даних з використанням ЕОМ в геології починають інтенсивно розвиватися з 60-х років. При цьому в геології основна увага приділяється розвитку методів апроксимації геологічних поверхонь. В інженерній геології використовується кількісна оцінка неоднорідності. Найчастіше використовується підхід, у процесі якого характеристики неоднорідності задаються залежністю коефіцієнта від просторових координат.

Першою успішною спробою застосування цифрових моделей була модель В.Х. Мавроді і В.П. Чуніхіна (1983) [4]. Запропонована методика дозволяла отримувати великомасштабну цифрову модель інженерно-геологічних умов місцевості.

Застосування статичного зондування з використанням високопродуктивних установок дало можливість проводити обстеження майданчиків з більш частою сіткою свердловин.

На базі даних статичного зондування в кінці 70-х років було запропоновано методику розрахунку ґрунтових основ по цифрових моделях із застосуванням ЕОМ. Досвід використання цифрових моделей ґрунтового масиву на базі даних зондування показав, що:

– статичне зондування дозволяє досліджувати ґрунтову основу по досить частій сітці; при цьому значно скорочується час на отримання інформації та обсяг лабораторних випробувань;

– методика побудови цифрових моделей дозволяє на всіх стадіях обробки інформації використовувати ЕОМ;

– експлуатація будівель і споруд, фундаменти яких спроектовані з використанням цифрових моделей продемонструвала забезпечення достатньої надійності.

Ці обставини висунули проблему створення методики розрахунку ґрунтових основ з використанням цифрових моделей на базі даних статичного зондування.

Математична модель

Методологія розрахунку показників стійкості та деформації полягає у використанні формул, одержаних з практики застосування статичного зондування [5].

Для отримання експериментальних даних проводяться дослідження промислового будівельного майданчика з використанням спеціальних зондів. Методика виконання роботи полягає в наступному. На майданчику проводяться занурення зондів на глибину 1,0 ÷ 2,0 м. При кожному зануренні реєструються величини опору ґрунту в момент зупинки.

При проектуванні фундаментів розрахунковий опір ґрунтової основи визначається за формулою:

$$R_s = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \left(P_{nk} + K\right),$$

де P_{nk} – початковий критичний тиск, γ_1, γ_2 – узагальнене розрахункове значення питомої ваги ґрунту, що залягає вище підошви фундаменту і нижче фундаменту відповідно.

Розрахункові формули використовуються у такому вигляді:

при $q_s \leq 2$ МПа □ $R_s = 1{,}05 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \left(0{,}12 \cdot q_s + 0{,}05\right)$,

при $q_s \leq 2$ МПа □ $R_s = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \left(0{,}02 \cdot q_s + K + 0{,}24\right)$.

При проектуванні фундаментів коефіцієнт деформації ґрунтової основи визначається за формулою:

$$E = \beta \cdot q_s,$$

де β – коефіцієнт, що враховує особливості різних ґрунтів в реальних умовах.

Розрахункова формула має вигляд:

$$E = 4{,}9 + 4 \cdot q_s.$$

Дана методика представляє ґрунтовий масив у вигляді цифрової моделі з характеристиками міцності та деформації.

Цифрові моделі будуються за горизонтальними та вертикальними розрізами ґрунтового масиву. Для побудови моделі, що досить точно відображає характеристики ґрунту у всіх областях, слід визначити оптимальну відстань між свердловинами. У роботах В.П. Огопоченка показано, що мінімальний радіус від свердловини до свердловини (r = =6,0 м) забезпечує повноту інформації навіть у складних інженерно-геологічних умовах. Отримані дані обробляються на ЕОМ. Цифрова модель будується шляхом білінійної інтерполяції значень характеристик ґрунту в кожних чотирьох опорних точках площини.

Дана методика розрахунку представляє ґрунтовий масив у вигляді цифрової моделі з характеристиками стійкості і деформації.

На першому етапі проводиться інтерполяція значень характеристик ґрунту в кожних чотирьох опорних точках площини розрізу.

Для інтерполяції використовується білінійна інтерполяція. Ключова ідея полягає в тому, щоб провести звичайну лінійну інтерполяцію спочатку в одному напрямку, потім в іншому.

Для того, щоб виконати інтерполяцію значення функції f в точці $P = \left(x, y\right)$, необхідно знати значення функцій в чотирьох точках околу $P = \left(x, y\right)$:

$$Q_{11} = \left(x_1, y_1\right),\ Q_{12} = \left(x_1, y_2\right),\ Q_{21} = \left(x_2, y_1\right),\ Q_{22} = \left(x_2, y_2\right)$$

Наближене значення функції f в точці $P = \left(x, y\right)$:

$$\begin{aligned} f\left(x, y\right) \approx {} & \frac{f\left(Q_{11}\right)}{\left(x_2 - x_1\right)\cdot\left(y_2 - y_1\right)} \cdot \left(x_2 - x\right)\cdot\left(y_2 - y\right) + \\ & + \frac{f\left(Q_{21}\right)}{\left(x_2 - x_1\right)\cdot\left(y_2 - y_1\right)} \cdot \left(x - x_1\right)\cdot\left(y_2 - y\right) + \\ & + \frac{f\left(Q_{12}\right)}{\left(x_2 - x_1\right)\cdot\left(y_2 - y_1\right)} \cdot \left(x_2 - x\right)\cdot\left(y - y_1\right) + \\ & + \frac{f\left(Q_{22}\right)}{\left(x_2 - x_1\right)\cdot\left(y_2 - y_1\right)} \cdot \left(x - x_1\right)\cdot\left(y - y_1\right). \end{aligned}$$

На другому етапі відбувається перерахунок значень опору ґрунтів та розрахункового тиску. Третім етапом є розрахунок коефіцієнту деформації ґрунту. В результаті отримується масив точок для створення об'ємної моделі зміни опору ґрунту на заданій глибині. Наявність такої цифрової моделі дозволяє виконувати проектування глибини залягання фундаментів.

Програмна реалізація

Пропонується наступний алгоритм побудови цифрової моделі ґрунту:

– формування вхідного масиву даних на базі результатів статистичного зондування;

– лінійна інтерполяція значень характеристик ґрунту в площині розрізу для побудови просторових рівнів моделі;

– кореляція значень опору ґрунтів та розрахункового тиску в залежності від ґрунтів, що залягають на певній глибині, для доповнення вихідних даних;

– розрахунок коефіцієнту деформації ґрунту;

– формування бази даних для 3-d моделі.

Наявність такої цифрової моделі дозволяє виконувати проектування глибини залягання фундаментів. Новітні установки для зондування дозволяють з використанням портативного комп'ютера отримувати інформацію про величину характеристики опору ґрунту $q_s = f(h)$. При наявності прямокутної, досить частої сітки свердловин на будь-якій заданій глибині, маємо значення q_s у вигляді масиву точок:

$$\left(x_{ij}; y_{ij}; z_{ij}\right), \quad i = 0,1 \ldots m, \quad j = 0,1, \ldots n .$$

Цей масив точок може служити базою для побудови об'ємної карти зміни опору ґрунту на заданій глибині.

Огляд результатів

В результаті було проведено аналіз систем моделювання та дослідження поведінки ґрунтів. З'ясовано, що в Україні немає доступних програмних засобів для рішення такого типу задач, і даний напрямок потребує суттєвого вивчення. Було автоматизовано процес проектування ґрунтової основи за допомогою цифрових моделей ґрунтів. Запропоновано методику застосування об'ємних цифрових моделей для оцінки ґрунтового масиву будівельних промислових майданчиків з врахуванням карти техногенних об'єктів. На основі запропонованих підходів щодо розрахунку побудови цифрових моделей ґрунтів, було розроблено програмно-технічний комплекс, який дозволяє проводити моніторинг і дослідження ґрунтової основи промислового будівельного майданчика.

В результаті роботи програми розраховується цифрова модель ґрунтової основи, також наводиться візуалізація отриманих розрахункових даних для даного будівельного майданчика з можливістю узгодження з географічними координатами (рис. 1).

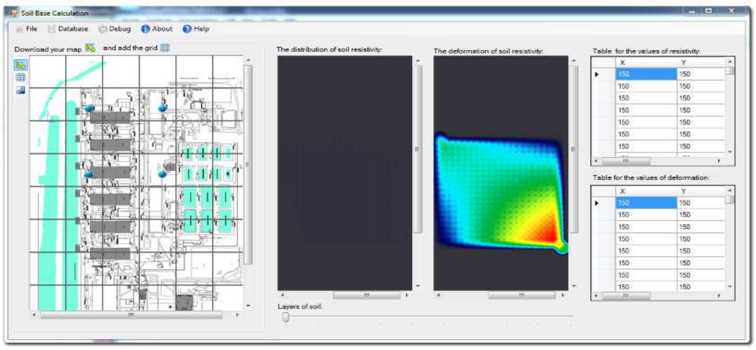


Рисунок 1 – Вікно відображення результатів розрахунків

Заключення

Таким чином, розроблено програмний продукт, який дозволяє комплексно оцінити характеристики ґрунтів у досліджуваному районі та провести кількісний аналіз отриманих результатів. Результати моделювання характеристик ґрунтів використовуються при проектуванні промислових будівельних майданчиків.

Список літератури

1. Писаренко В.Г. Компоненты информационно-аналитической системы прогнозирования наводнений в предгорьях из-за быстрого снеготаяния / В.Г. Писаренко, В.И. Сидоренко, Ю.В. Писаренко // Искусственный интеллект. – 2012. – № 4. – С. 97-103.
2. Писаренко Ю.В. Интеллектуальный мобильный робот для горноспасательных работ / Ю.В. Писаренко // Пятая научно-практическая конференция «Интегрированные интеллектуальные робототехнические комплексы (ИИРТК-2012)». – Киев.– Национальный авиационный университет (15-16 мая). – 2012. – С. 44-45.
3. Мелкумян К.Ю. Метод відновлення об'єкту моніторингу автоматизованої системи / К.Ю. Мелкумян // П'ята науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІІРТК-2012)». – Київ.– Національний авіаційний університет (15-16 травня). – 2012. – С. 34-55.
4. Цифровые модели грунтовых образований – Анализ и особенности применения / Строкова Л.А. // InternetGeo. – 2008. – Т. 313. – № 3. – С. 38–43.
5. Чернишов В.И. Механика грунтов / В.И. Чернишов, В.В. Лазарев, И.Л. Сайфулин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1995. – № 1. – С. 253-256.

References

1. Pisarenko V.G., Sidorenko V.I., Pisarenko J.V. Components of Information Analytical System for Snowmelt Flood Forecasting in Foothills // Artificial Intelligence. – 2012. – № 4. – P. 97-103.
2. Pisarenko J.V. Intelligent mobile robot for rescue work // Fifth Scientific Conference "Integrated Intelligent robotic systems (IIRS-2012)" (Kiev, National Aviation University, 15-16 May). – Kiev. – 2012. – P. 44-45.
3. Melkumyan E.Yu. The method of monitoring object restoration by the automated system // Fifth Scientific Conference "Integrated Intelligent robotic systems (IIRS-2012)" (Kiev, National Aviation University, 15-16 May). – Kiev. – 2012. – P. 34-55.
4. Strokova L.A. Digital models of ground formations - Analysis and application // InternetGeo. – 2008. – V. 313. – №3. – P. 38 – 43.
5. Чернишов В.И., Лазарев В.В., Сайфулин И.Л. Soil mechanics. // Bases, foundations and soil mechanics. – 1995. – №1. – P. 253–256.

RESUME

A.S. Kryachok, T.I. Bilyankina

About the Digital Models of Soil

Existing methods and tools for soil designing on industrial construction plant were analyzed. The method of digital soil models constructing by using several types of interpolation to improve the accuracy of the calculations has been improved. The computer system components for digital soils models building have been developed. For experimental data was conducted a study of industrial construction plant using special probes.

This method of calculation is the soil mass in the form of the digital model with the characteristics of stability and deformation. Was developed a software product that allows to comprehensively assess the soils characteristics in the study area and quantitative analyzed the results. The simulation results of soil characteristics used in the design of industrial construction plants.

Стаття надійшла до редакції 08.04.2014.